

Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 14 NOMOR 1

APRIL 2018

Simulasi Pelacakan Titik Daya Maksimum Modul Surya dengan Metode Grey Wolf Optimization 26-34

Rizki Faulianur, Ira Devi Sara, dan Fitri Arnia

JRE	Vol. 14	No. 1	Hal 1–82	Banda Aceh, April 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	----------	---------------------------	--------------------------------------

Simulasi Pelacakan Titik Daya Maksimum Modul Surya dengan Metode Grey Wolf Optimization

Rizki Faulianur, Ira Devi Sara, dan Fitri Arnia
Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111
e-mail: rizkifaulianur@gmail.com

Abstrak—Modul surya memiliki karakteristik arus dan tegangan yang tidak linier dimana terdapat satu titik daya maksimum yang harus dilacak untuk menghindari energi yang terbuang. Beberapa metode pelacakan daya maksimum seperti *perturb and observe* (P&O), *Incremental Conductance* (IC), dan *Hill Climbing* (HC) masih kurang akurat serta lambat dalam merespon perubahan radiasi dan suhu. Untuk menutupi kekurangan metode tersebut, maka dikembangkan suatu pendekatan optimasi baru untuk melacak titik daya maksimum yang disebut *Grey Wolf Optimization* (GWO) yang didasarkan pada perilaku serigala dalam menangkap mangsa. Dalam penelitian ini, akan ditentukan sejauh mana metode GWO dapat melacak titik kerja maksimum modul surya yang mengalami perubahan radiasi dan suhu kerjanya dengan cepat dan akurat. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan Matlab/Simulink dengan membandingkan hasil ekstrak daya metode GWO dengan karakteristik dayanya. Hasil yang diperoleh metode GWO melacak daya maksimum dengan tingkat keakuratan rata-rata 99,14 % dengan waktu kurang dari 0,1 detik. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa metode GWO berhasil merespon dengan baik dan akurat terhadap perubahan radiasi dan suhu.

Kata kunci: modul surya, pelacakan titik daya maksimum, GWO, perubahan radiasi, perubahan suhu

Abstract—The photovoltaic module has a nonlinear current and voltage characteristic curve where there is a maximum power point to be tracked to avoid wasted energy. Some methods for tracking the maximum power points have been developed such as *perturb and observe* (P&O), *Incremental Conductance* (IC), and *Hill Climbing* (HC). However, those methods were not so accurate to find the maximum power point and they were also slow to respond the changes in solar radiation and temperature. To overcome the shortcomings of the method, a new optimization approach was developed. This method is called *Gray Wolf Optimization* (GWO). It work based on the wolf behavior in capturing the prey. In this study, it will be determined to what extent the GWO method can track the maximum working point of solar modules that undergo changes in radiation and working temperature quickly and accurately. This research was conducted by simulation using Matlab/Simulink by comparing the extract of power GWO method with its power characteristics. The results obtained by the GWO method trace maximum power with an average accuracy rate of 99.14 % with time less than 0.1 second. From this data, it can be concluded that the GWO method successfully responds well and accurately to changes in radiation and temperature.

Keywords: photovoltaic module, maximum power point tracking, GWO, change in radiation, change in temperature

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Modul surya adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Karakteristik arus dan tegangan keluaran sebuah modul surya tidak linier dimana arus *short circuit* (I_{sc}) didapatkan pada saat tegangannya nol dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) didapatkan pada saat arusnya nol. Pada saat cahaya matahari mengenai permukaan modul surya, maka I_{sc} akan mengalir menuju nol pada saat tegangannya *open circuit*. Berdasarkan karakteristik tersebut, terdapat satu titik arus maksimum (I_{mp}) dan tegangan maksimum (V_{mp}) yang menghasilkan daya maksimum (P_{mp}) yaitu hasil perkalian arus dan tegangan maksimum tersebut.

Modul surya diupayakan untuk dapat selalu bekerja pada

titik daya maksimum agar tidak ada energi yang terbuang. Untuk memperoleh daya maksimum ini diperlukan metode untuk melacak titik daya maksimum yang dikenal dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [1]. Beberapa metode untuk melacak daya maksimum yaitu *Perturb and Observe* (P&O), *Incremental Conductance* (IC), dan *Hill Climbing* (HC).

Metode P&O merupakan metode konvensional dan banyak diaplikasikan karena algoritma metodenya yang sederhana. Namun, metode tersebut memiliki kelemahan dalam melacak daya maksimum karena nilai daya keluaran modul surya naik dan turun (berosilasi) secara tetap pada titik kerja maksimumnya sehingga menyebabkan ada energi yang hilang [2]. Untuk mengatasi kekurangan metode P&O, metode IC diterapkan untuk menghilangkan

osilasi yang terdapat pada metode P&O namun metode ini lebih lambat dalam mencapai daya maksimum [3], [4]. Selain itu metode ini kurang sensitif dalam melacak daya maksimum modul surya ketika terjadi perubahan radiasi dan suhu. Metode HC dan P&O merupakan metode yang berbeda dengan prinsip kerja yang sama [1]. Oleh karena itu metode HC juga memiliki kekurangan yang sama dengan metode P&O. Karena terdapat beberapa kekurangan pada metode konvensional, maka metode MPPT mulai diterapkan dengan metode optimasi metaheuristik seperti *Grey Wolf Optimization* (GWO).

Metode GWO merupakan sebuah metode baru yang diperkenalkan oleh Mirjalili [5]. Metode GWO ini telah diaplikasikan untuk melacak daya maksimum pada sekumpulan modul surya yang diberikan gangguan dengan keakuratan dan sensitifitas yang tinggi. Sejauh pengamatan, metode ini belum diteliti sensitivitas dan tingkat keakuratannya pada sebuah modul surya yang bekerja dengan perubahan radiasi dan suhu yang terjadi secara cepat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode GWO untuk melihat sensitifitas dan keakuratan metode GWO dalam melacak daya maksimum modul surya.

II. STUDI PUSTAKA

A. Pemodelan Modul Surya

Rangkaian ekivalen sel surya digambarkan dengan pemodelan satu dioda seperti pada Gambar 1. Rangkaian ini terdiri dari sumber arus yang paralelkan dengan sebuah dioda dan resistansi R_p dan R_s .

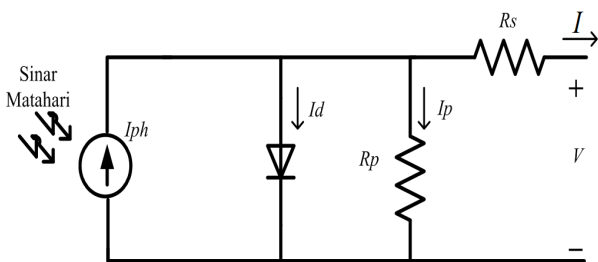
Arus keluaran sel surya pada Gambar 1 diperoleh sesuai dengan Persamaan (1) dan (2) berikut:

$$I = I_{ph} - I_d - I_p, \quad (1)$$

$$I = I_{ph} - I_o \left(e^{qV/nkT} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p}, \quad (2)$$

dimana I adalah arus keluaran sel surya (A), I_{sc} arus hubung singkat sel surya (A), I_{ph} photocurrent (A), V_L tegangan output sel surya (Volt), I_o saturasi arus balik sel surya (A), I_p arus yang melalui (A), T suhu sel surya ($^{\circ}K$), k konstanta Boltzman's = $1,38 \times 10^{-23}$, q muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb), n konstanta kualitas dioda, R_s resistansi seri *intrinsic* (Ohm), R_p resistansi paralel (Ohm).

Kumpulan sel surya yang dihubungkan secara seri-



Gambar 1. Rangkaian ekivalen sel surya [6]

paralel membentuk satu buah modul surya dengan spesifikasi daya tertentu. Pemodelan modul surya dengan jumlah sel yang dihubungkan secara seri (N_s) dan paralel (N_p) ditunjukkan pada Gambar 2 [7].

Persamaan untuk pemodelan modul/array surya diberikan pada Persamaan (3) berikut [7] :

$$I = N_p * I_{ph} - N_p * I_d * \left[\exp \left(\frac{V / N_s + I * R_s / N_p}{n k T / q} \right) - 1 \right] - I_p, \quad (3)$$

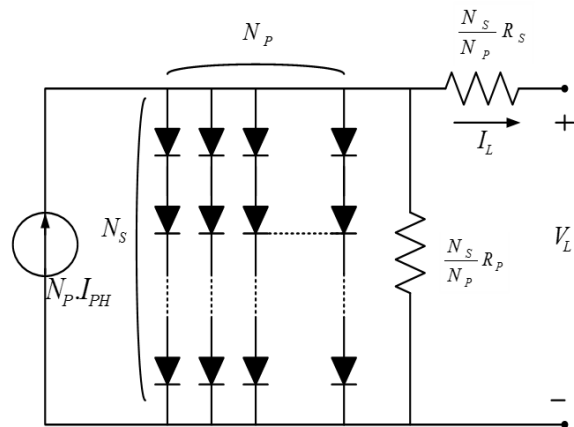
dimana *energy band gap* dari semikonduktor, arus *short circuit*, arus reverse saturasi dioda, G radiasi matahari, koefisien temperatur arus *short circuit* ($0.0013 \text{ A}/^{\circ}C$), jumlah sel/modul seri, jumlah sel /modul paralel, T temperature modul, temperature referensi, k konstanta Boltzman's $1,38 \times 10^{-23}$, q muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb), n konstanta kualitas dioda, R_s resistansi seri (Ohm), R_p resistansi paralel (Ohm), tegangan keluaran modul surya, tegangan *open circuit* modul surya, arus keluaran modul surya.

B. Algoritma GWO

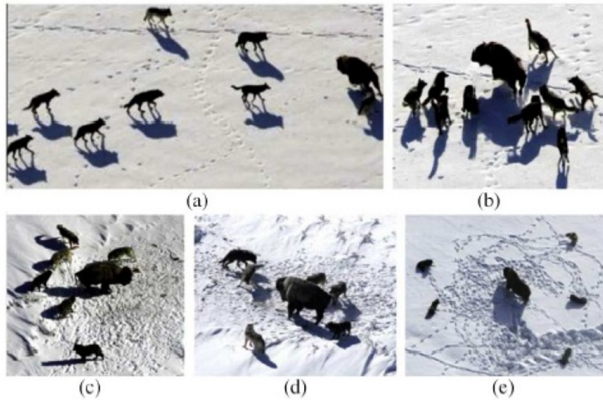
Metode ini meniru hirarki perilaku sekumpulan serigala dalam melacak mangsanya di alam. Algoritma dari metode ini adalah proses pengejaran, pelacakan mangsa, mengelilingi mangsa, dan menyerang mangsa seperti diperlihatkan pada Gambar 3.

Dalam gambar tersebut dimisalkan ada 7 serigala, dimana empat jenis dari serigala seperti alpha (α), beta (β), delta (δ) dan omega (ω) merupakan *agent* untuk mensimulasikan hirarki kepemimpinan. Proses optimasi sama seperti perburuan dipandu oleh peringkat tertinggi sebagai α diikuti β , δ dan terakhir ω . Serigala (ω) merupakan peringkat terendah yang merepresentasikan solusi terakhir yang harus diatur posisinya untuk mengikuti serigala yang lebih dominan. Hal ini diasumsikan bahwa setiap kandidat solusi dengan dimensi n diwakili oleh vektor sehingga posisi serigala diberikan sebagai Persamaan (4) [5]:

$$\vec{X} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}. \quad (4)$$



Gambar 2. Rangkaian ekivalen modul surya [7]



Gambar 3. Perilaku perburuan dari grey wolves: (a) - (c) Pengejaran dan pelacakan mangsa; (d) mengelilingi mangsa; dan (e) penyerangan mangsa [5]

Serigala mengelilingi mangsa selama berburu dan perilaku mengelilingi dapat dimodelkan dengan Persamaan (5) dan (6) di bawah [5]:

$$\vec{D} = \left| \vec{C} - \vec{X}_{(t)p} \cdot \vec{X}_{(t)} \right|, \quad (5)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{(t)p} + \vec{A} \cdot \vec{D}, \quad (6)$$

dimana $\vec{X}_{(t)p}$ menunjukkan vektor posisi dari mangsa, $\vec{X}_{(t)}$ merupakan vektor posisi dari serigala, t adalah iterasi, A , C dan D menunjukkan koefisien vektor. Vektor A dan C dihitung menggunakan Persamaan (7) dan (8) [8]:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r1} - \vec{a}, \quad (7)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r2}, \quad (8)$$

dimana komponen dari a linier berkurang dari 2 ke 0 selama iterasi dan $r1$, $r2$ adalah vektor random dengan nilai antara 0 sampai 1.

Perburuan biasanya dipandu oleh α yang disebut pemimpin diikuti oleh β dan δ yang dapat juga berpartisipasi berburu. α , β dan δ sebagai agen terbaik dan agen pemangsa yang lain dipaksa untuk memperbaharui posisinya tergantung posisi agen terbaik. Persamaan untuk perburuan posisi seperti persamaan berikut:

$$\vec{D}_\alpha = \left| \vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X} \right|, \quad (9)$$

$$\vec{D}_\beta = \left| \vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X} \right|, \quad (10)$$

$$\vec{D}_\delta = \left| \vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X} \right|, \quad (11)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha, \quad (12)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta, \quad (13)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta, \quad (14)$$

$$\vec{X}_{(t+1)} = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3}. \quad (15)$$

Serigala menyelesaikan berburu dengan menyerang mangsa ketika berhenti bergerak [9]. Untuk pemodelan matematis yang menunjukkan serigala menangkap

Tabel 1. Spesifikasi modul surya

Parameter	Nilai
Jumlah <i>Cell</i> ()	36
Daya Maksimum (P_{max})	55 Wp
Tegangan Saat Daya Maksimum (V_{mp})	18,18 Volt
Arus Saat Daya Maksimum (I_{mp})	3,1 Ampere
Tegangan <i>Open Circuit</i> (V_{oc})	22,1 Volt
Arus <i>Short circuit</i> (I_{sc})	3,31 Ampere
Standard Test Conditions (STC):	
Intensitas Cahaya (radiasi)	1000 W/m ²
Suhu	25°C

mangsa adalah nilai a yang berkurang secara linier dari nilai 2 menuju nilai 0.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* Matlab /Simulink. Alur penelitian ini yaitu pemilihan modul surya, pemodelan sistem pelacakan, serta implementasi metode GWO pada Matlab/Simulink. Tahapan selanjutnya adalah simulasi pemodelan modul surya, validasi simulasi modul surya pada kondisi STC, skenario simulasi berdasarkan perubahan radiasi dan suhu, pengujian metode GWO, pengambilan data dan pembahasan, serta pengambilan kesimpulan.

A. Pemilihan Modul surya

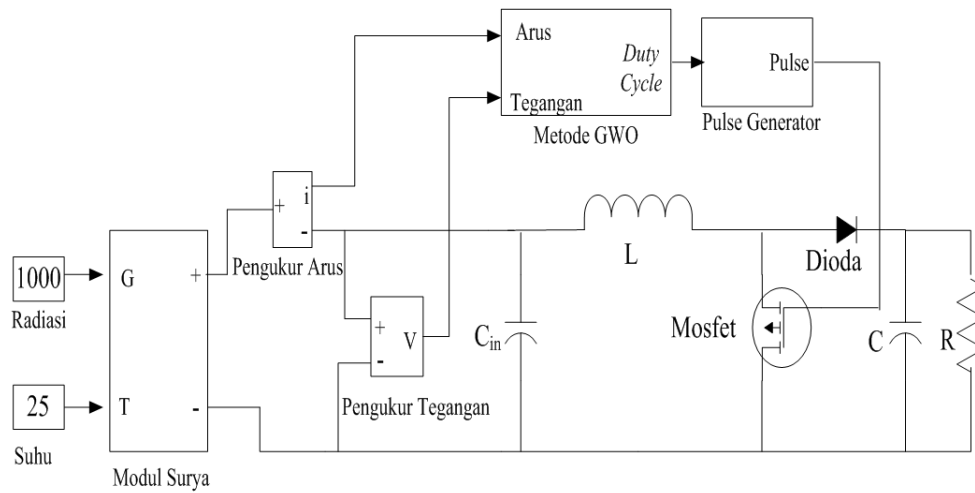
Penelitian ini menggunakan satu buah modul surya dengan spesifikasi 55 WP pada kondisi *Standard Test Condition* (STC). Spesifikasi modul surya selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1.

B. Pemodelan Sistem Pelacakan

Modul surya dimodelkan dengan persamaan (3) pada kondisi STC divalidasi sesuai dengan spesifikasi pada Tabel 1. Toleransi yang diizinkan pada spesifikasi modul ini adalah . Modul surya juga disimulasikan dengan memberikan variasi radiasi dan suhu.

Blok diagram sistem simulasi pelacakan daya maksimum modul surya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Modul surya dihubungkan dengan rangkaian *boost* konverter dan MPPT kontroler. Algoritma GWO sebagai MPPT kontroler pelacakan daya maksimum. Keluaran dari MPPT kontroler menjadi masukan ke rangkaian *driver* untuk diubah nilai konstanta menjadi sinyal PWM untuk mengaktifkan Mosfet.

Penelitian ini menggunakan rangkaian *boost converter* dengan frekuensi *switching* 25 kHz, nilai $C_{in}=100\mu F$, $L=3,3$ mH, $C=1651\mu F$, $R=25 \Omega$ dan *time step* 0,001 detik. Rangkaian *boost converter* yang diintegrasikan dengan modul surya dan metode GWO ditunjukkan secara rinci pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian keseluruhan sistem

Gambar 4 menunjukkan arus dan tegangan yang dihasilkan modul surya menjadi masukan pada MPPT kontroller kemudian arus dan tegangan dikalikan sehingga menghasilkan daya. Daya masukan ini diperoleh ketika *duty cycle* awal dari algoritma GWO diberikan pada *gate* mosfet. Daya keluaran selanjutnya tergantung pada *duty cycle* baru yang diberikan oleh MPPT kontroller. *Duty cycle* baru diperoleh dari algoritma GWO yang merupakan perubahan posisi dari serigala. Untuk mengaplikasikan algoritma GWO untuk melacak daya maksimum modul surya, posisi serigala didefinisikan sebagai *duty cycle* (d) yang diberikan pada rangkaian *boost* konverter. Nilai *duty cycle* adalah nilai konstanta dari 0 sampai 1.

Pada penelitian ini jumlah agen pencarian (n) sebanyak 3 dan iterasi maksimum 30. Maka posisi serigala diberikan sebagai :

$$\vec{X} = [d_1, d_2, d_3]. \quad (16)$$

Mula-mula serigala α , β , dan δ diatur posisinya 0. Dan nilai daya serigala dan diberikan negatif *infinity*. Saat iterasi pertama, nilai a adalah 2, diberikan untuk mengaktifkan *gate* mosfet. Misalkan *duty cycle* yang diberikan pada terminal *gate* mosfet bernilai 0,5 yang menunjukkan *duty cycle* 50%, maka sinyal PWM adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bentuk sinyal PWM dengan nilai *duty cycle* 50 % yang diberikan pada terminal *gate* mosfet. Pada satu *time step* simulasi dengan waktu 0,001 detik terdapat 25 buah *chopping* sinyal PWM.

Selanjutnya nilai arus dan tegangan modul surya diperoleh, dan dikalikan untuk mendapatkan daya modul surya. Daya ini dibandingkan dengan daya serigala dan jika lebih besar maka nilai daya dan posisi serigala dan diganti dengan nilai daya dari serigala diganti dengan *duty cycle*. Sehingga posisi dan nilai daya dan berganti dengan nilai yang baru. Selanjutnya dan yang bekerja untuk mendapatkan daya kemudian membandingkan dengan serigala dan sebelumnya seperti pada saat bekerja. Setelah semua agen pencarian mendapatkan nilai

daya, maka posisi agen pencarian diperbaharui dengan persamaan:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \text{posisi}_\alpha - d_1|, \quad (17)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \text{posisi}_\beta - d_1|, \quad (18)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \text{posisi}_\delta - d_1|, \quad (19)$$

$$\vec{X}_1 = \text{posisi}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha, \quad (20)$$

$$\vec{X}_2 = \text{posisi}_\beta - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta, \quad (21)$$

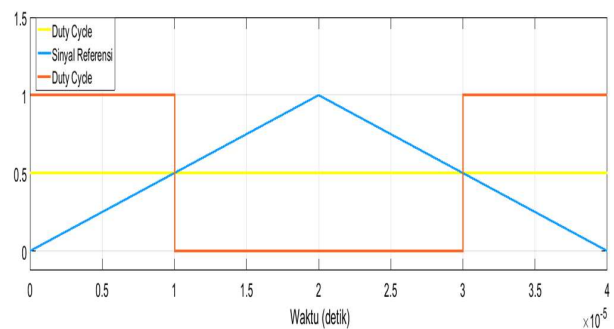
$$\vec{X}_3 = \text{posisi}_\delta - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta, \quad (22)$$

Nilai $\vec{A}_1, \vec{A}_2, \vec{A}_3$ diperoleh dengan persamaan (5) dan nilai $\vec{C}_1, \vec{C}_2, \vec{C}_3$ diperoleh dengan persamaan (6). Maka *duty cycle* terbaru diperoleh dengan persamaan berikut:

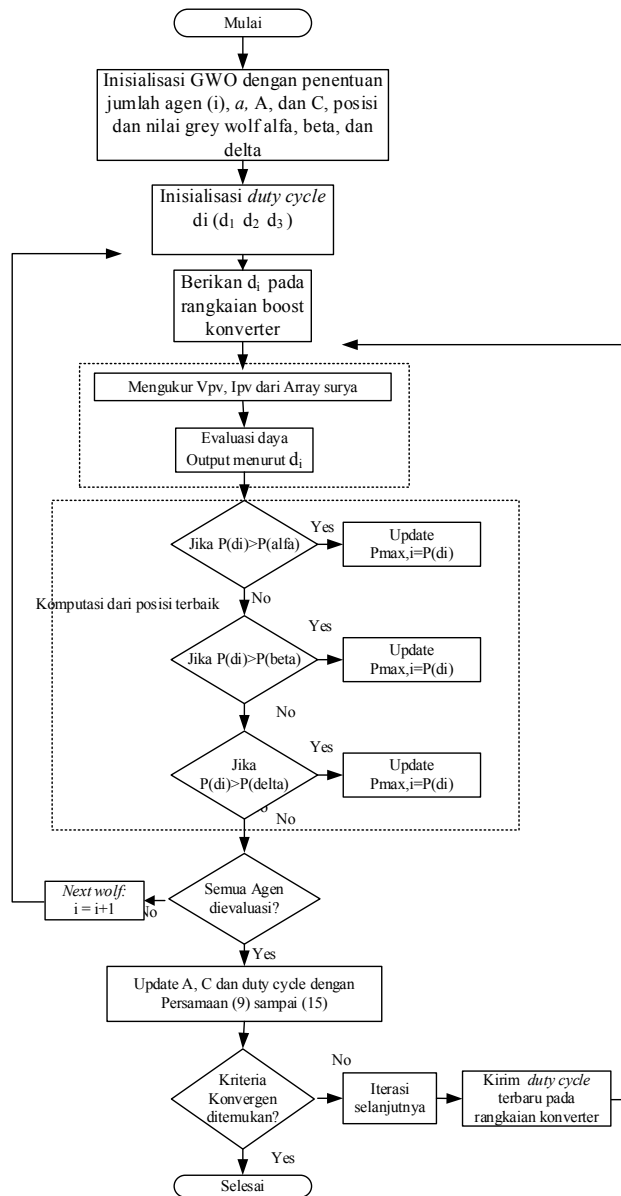
$$d_{1(t+1)} = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3}, \quad (23)$$

untuk *duty cycle* dan terbaru diperoleh dengan cara yang sama seperti pada Persamaan (17) sampai (23) dengan mengganti dengan atau Setelah mendapatkan *duty cycle* dan terbaru, nilai *duty cycle* ini yang digunakan untuk mengaktifkan *gate* mosfet.

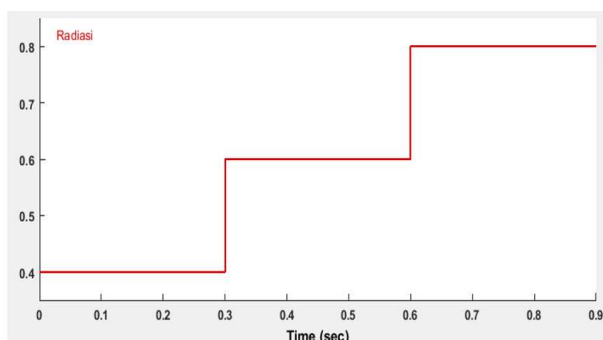
Tahapan selanjutnya masuk pada iterasi kedua dimana nilai a berkurang menjadi 1,98. Nilai a berkurang secara linear selama proses iterasi sampai mendekati nol. Daya


Gambar 5. Sinyal PWM dengan *duty cycle* 50 %

maksimum diperoleh ketika nilai a mendekati nol atau pada saat iterasi maksimum. Ketiga nilai *duty cycle* akan bernilai mendekati sama pada saat daya maksimum diperoleh. Diagram alir metode GWO selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir metode GWO



Gambar 7. Bentuk signal input simulasi untuk perubahan radiasi tahap simulasi 1

C. Skenario Simulasi

Sebuah modul surya dengan spesifikasi 55 WP diberikan perubahan radiasi dan suhu dengan waktu simulasi maksimum adalah 0.9 detik seperti rincian berikut:

1. Perubahan Radiasi

Pada tahap ini radiasi modul surya diberikan dari range 400 W/m² sampai 1000 W/m² dengan kenaikan tiap 200 W/m² sedangkan suhunya tetap 25°C. Untuk mengetahui keakuratan metode ini, daya maksimum dibandingkan dengan kurva karakteristik daya modul surya. Bentuk *signal* radiasi dan suhu merupakan *signal step* seperti ditunjukkan pada Gambar 6, 7, dan 8. Untuk *signal* radiasi dikalikan dengan 1000 dan untuk *signal* suhu dikalikan dengan 100. Jika *signal* radiasi bernilai 1 maka radiasi 1000 W/m² atau jika *signal* suhu bernilai 0,25 maka suhu 25°C.

Pada simulasi pertama, input radiasi awal 400 W/m². Ketika mencapai 0,3 detik, radiasi ini kemudian naik secara cepat menuju 400 W/m². Bentuk sinyal radiasi selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 7.

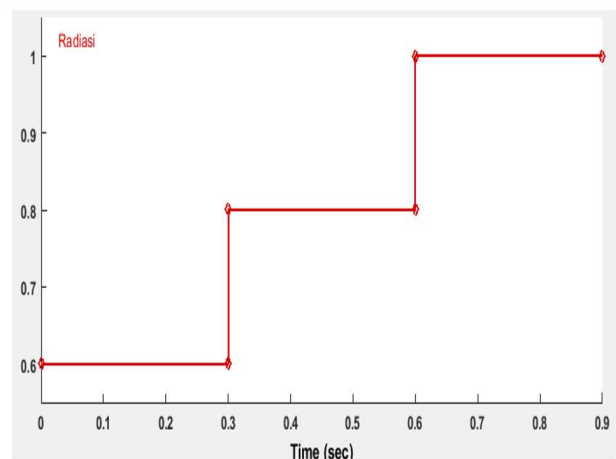
Kondisi simulasi kedua, radiasi awal yang diberikan adalah 600 W/m². Ketika mencapai 0,3 detik, radiasi awal ini kemudian naik secara cepat menuju 800 W/m². Selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 8.

2. Perubahan Suhu

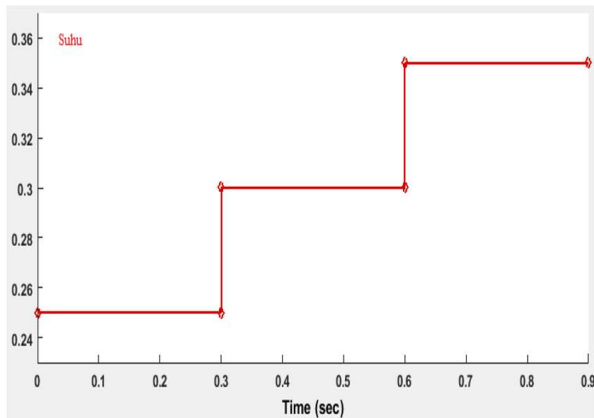
Pada tahapan ini radiasi yang diterima modul surya tetap yaitu 1000 W/m² sedangkan suhunya berubah. Input suhu awal 25°C. Kemudian kondisi perubahan suhu terjadi secara cepat. Ketika 0,3 detik, suhu mengalami kenaikan 5°C sehingga suhunya menjadi 30°C sampai waktu 0,6 detik. Selanjutnya suhunya kembali naik menjadi 35°C pada waktu 0,6 detik sampai 0,9 detik. Selengkapnya ditunjukkan Gambar 9.

D. Pengujian

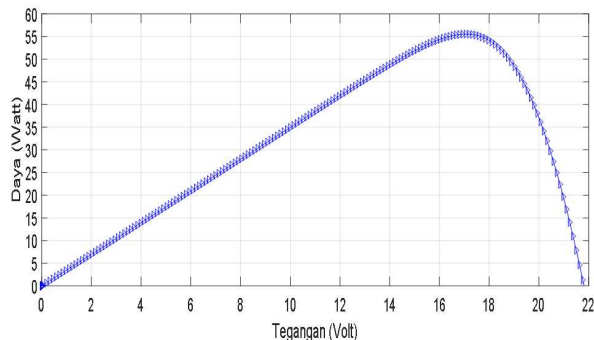
Metode GWO diuji sensitivitas dan keakuratannya pada kondisi perubahan radiasi dan suhu. Keakuratan metode GWO diperoleh dengan membandingkan daya



Gambar 8. Bentuk signal input simulasi untuk perubahan radiasi tahap simulasi 2



Gambar 9. Bentuk signal input simulasi untuk perubahan suhu



Gambar 10. Karakteristik daya modul surya [10]

hasil pelacakan dengan kurva karakteristik modul surya. Sensitivitas metode GWO diuji dengan perubahan radiasi dan suhu untuk melihat berapa lama metode GWO merespon terhadap perubahan radiasi dan suhu. Nilai keakuratan dihitung dengan Persamaan (24):

$$\% \text{ Akurat} = 1 - \text{abs} \left(\frac{\text{Daya Modul} - \text{Daya GWO}}{\text{Daya modul}} \right) * 100. \quad (24)$$

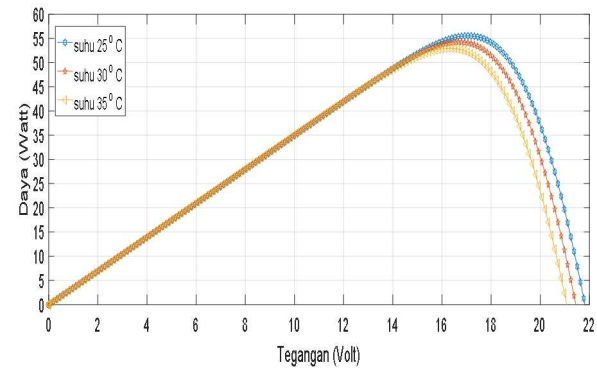
E. Pengumpulan Data dan Analisa

Data yang diperoleh berupa data daya keluaran modul surya dan daya keluaran *boost* konverter pada setiap kondisi yang diuji. Data daya keluaran modul surya dianalisa dan dibandingkan dengan karakteristik P-V modul surya. Data daya keluaran modul surya ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel. Selain itu untuk melihat sensitivitas modul surya data waktu dalam merespon terhadap perubahan radiasi dan suhu ditampilkan dalam bentuk grafik. Indikator keberhasilan metode GWO dalam pelacakan titik daya maksimum akan dibandingkan dengan kurva karakteristik P-V.

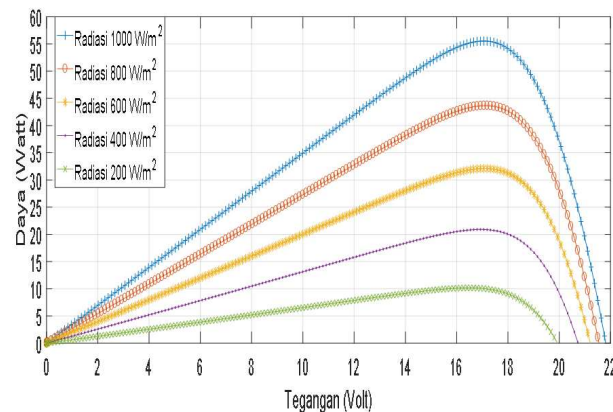
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Modul Surya

Modul surya yang disimulasikan pada kondisi STC menghasilkan daya maksimum 55,9 Watt dan spesifikasi modul surya pada kondisi ini yaitu 55 Watt. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 10. Dari gambar tersebut dapat



Gambar 11. Karakteristik parameter daya dan tegangan terhadap perubahan suhu [10]



Gambar 12. Karakteristik parameter daya dan tegangan terhadap perubahan radiasi [10]

diketahui bahwa nilai kesalahan yang diperoleh yaitu 1,78% sehingga nilai kesalahan ini berada dibawah nilai toleransi sehingga pemodelan modul surya ini dapat dikatakan sudah valid. Untuk selanjutnya daya modul surya yang menjadi acuan keakuratan pelacakan daya maksimum menuju pada pemodelan modul surya ini.

Gambar 11 menunjukkan karakteristik daya dan tegangan pada radiasi 1000 W/m² dan perubahan suhu. Daya dan tegangan maksimum modul surya akan berkurang saat terjadi kenaikan suhu begitu juga sebaliknya. Nilai daya maksimum dari karakteristik modul surya dengan perubahan suhu ditunjukkan pada Tabel 3.

Gambar 12 menunjukkan karakteristik daya-tegangan modul surya pada saat terjadi perubahan radiasi dan suhu yang tetap 25°C. Penurunan radiasi mengakibatkan daya maksimum modul surya akan berkurang begitu juga sebaliknya. Nilai daya maksimum dari karakteristik modul surya dengan perubahan radiasi ditunjukkan pada Tabel 2.

B. Pengujian Metode GWO

Metode GWO telah diuji terhadap perubahan radiasi dan suhu. Nilai daya maksimum hasil pelacakan dengan metode GWO dengan perubahan radiasi dan suhu yang tetap ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa daya maksimum yang diperoleh dengan metode GWO mendekati karakteristik daya modul surya.

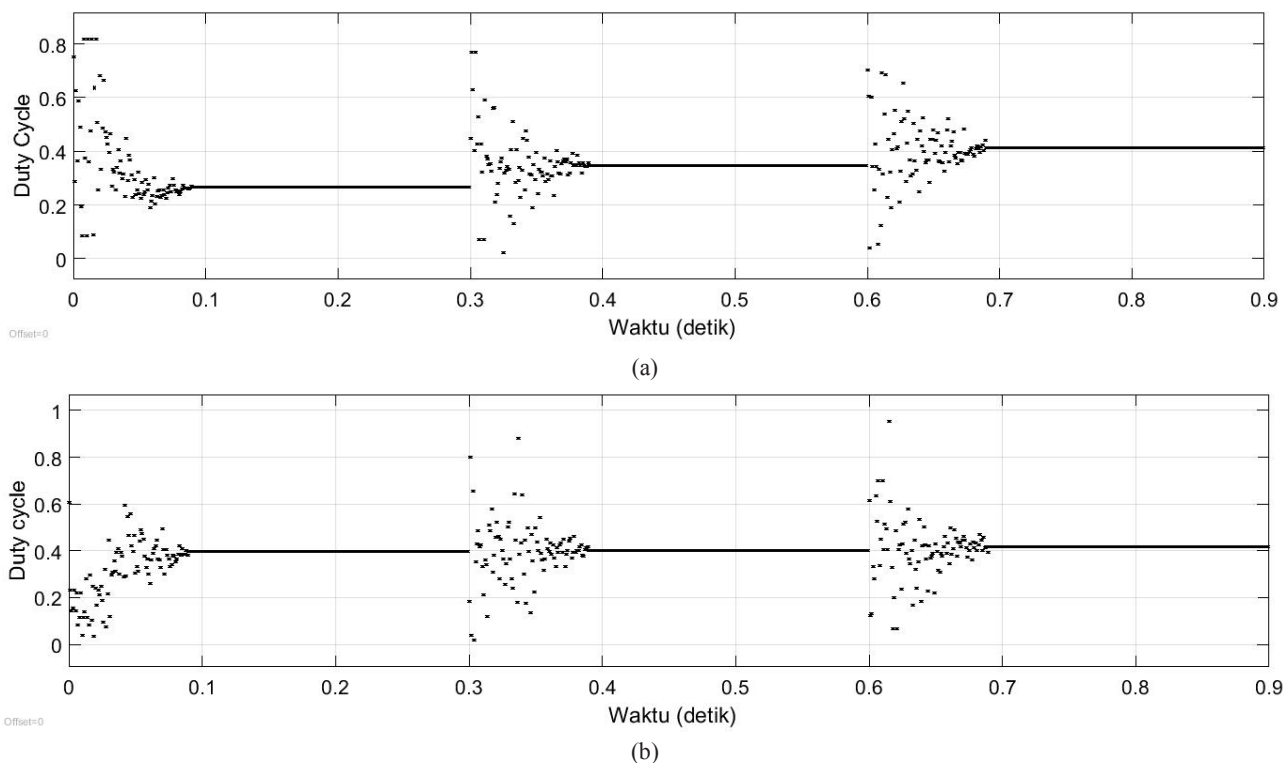
Pada radiasi 1000 W/m², daya maksimum yang diperoleh 54,56 Watt. Daya maksimum dari kurva

Tabel 2. Daya maksimum dengan perubahan radiasi

Radiasi (W/m ²)	Suhu	Daya maksimum dari karakteristik daya modul surya (Watt)	Daya Maksimum Metode GWO (Watt)	Keakuratan GWO
1000	25°C	55,98	54,56	97,46%
800	25°C	44,94	44,63	99,31%
600	25°C	33,73	33,41	99,05%
400	25°C	22,34	22,39	99,77%

Tabel 3. Daya maksimum dengan perubahan suhu

Radiasi (W/m ²)	Suhu	Daya maksimum dari karakteristik daya modul surya (Watt)	Daya Maksimum GWO (Watt)	Keakuratan GWO
1000	25°C	55,98	55,41	98,98%
1000	30°C	54,73	54,32	99,25%
1000	35°C	53,48	53,46	99,96%

Gambar 13. Eksplorasi *duty cycle* terhadap: (a) perubahan radiasi (b) perubahan suhu

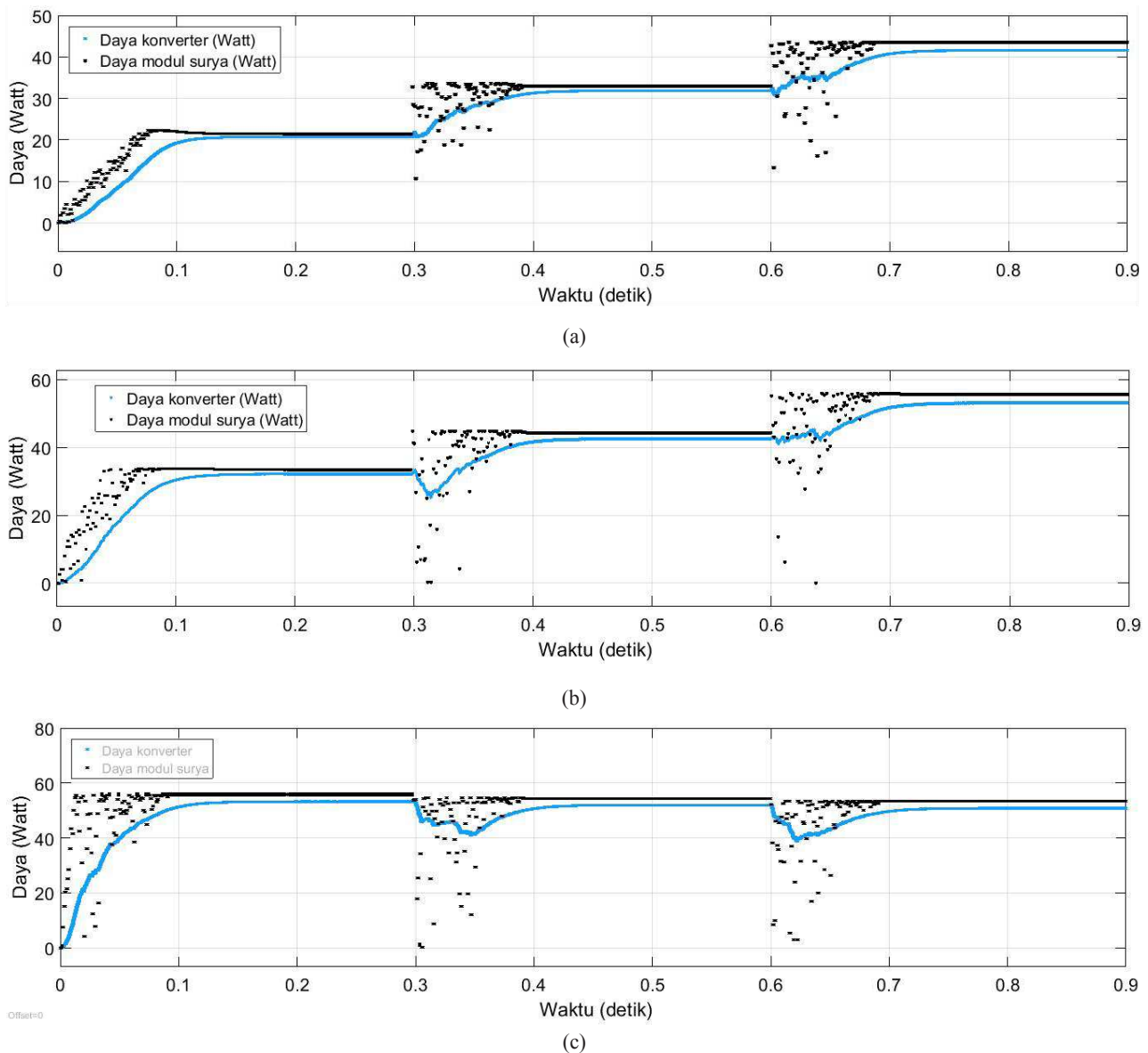
karakteristik daya yaitu 55,98 Watt. Keakuratan pada radiasi ini bernilai 97,46%. Untuk keakuratan pada radiasi selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 2. Dari beberapa persentase keakuratan datanya, dapat disimpulkan bahwa nilai keakuratan metode ini pada perubahan radiasi dan suhu yang tetap rata-rata mencapai 98,89%.

Tabel 3 menunjukkan perbandingan pelacakan daya maksimum dengan radiasi tetap 1000 W/m² dan perubahan suhu. Daya maksimum yang diperoleh mendekati karakteristik daya modul surya. Keakuratan metode ini pada perubahan suhu rata-rata mencapai 99,39%. Nilai daya maksimum dan hasil perhitungan keakuratan selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Setelah diakumulasi, rata-rata keakuratan metode GWO pada saat terjadi perubahan radiasi maupun suhu adalah 99,14%. Hal ini menunjukkan bahwa metode GWO dapat melacak daya maksimum modul surya dengan keakuratan yang tinggi.

Gambar 14 menunjukkan kurva pelacakan daya maksimum modul surya dan daya keluaran konverter.

Gambar 14 (a), (b), dan (c) menunjukkan daya yang dihasilkan konverter mengikuti daya dari modul surya. Hal ini menunjukkan bahwa pelacakan daya sudah bekerja dengan baik. Saat terjadi perubahan radiasi atau suhu, daya modul surya naik turun kemudian akan mengalami kestabilan. Daya yang dihasilkan pada kondisi maksimum bernilai tetap dan nilai daya mendekati dari karakteristik daya modul surya. Sebelum daya maksimum diperoleh, nilai daya bersilasi yang menunjukkan algoritma GWO melakukan pencarian nilai *duty cycle* yang tepat sehingga didapatkan nilai *duty cycle* untuk menghasilkan daya maksimum. Nilai *duty cycle* selama proses pelacakan daya maksimum ditunjukkan pada Gambar 13. Berdasarkan gambar tersebut, waktu yang dibutuhkan metode GWO untuk mencapai *duty cycle* yang bernilai tetap pada waktu sekitar 0,09 detik. Ketika terjadi perubahan radiasi atau suhu, *duty cycle* yang telah ditemukan akan kembali direinisialisasi dan mulai mencari kembali seperti dari tahap awal simulasi. Nilai *duty cycle* ini yang menentukan keluaran daya maksimum modul surya dimana daya



Gambar 14. Kurva pelacakan dengan metode GWO: (a) radiasi berubah dari 400 W/m², 600 W/m², 800 W/m², suhu 25°C. (b) radiasi berubah dari 600 W/m², 800 W/m², 1000 W/m², suhu 25°C. (c) Radiasi tetap 1000 W/m² suhu berubah 25°C, 30°C, 35°C

maksimum diperoleh pada waktu 0,1 detik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.

V. KESIMPULAN

Metode GWO dapat melacak daya maksimum modul surya pada kondisi normal dengan keakuratan yang tinggi yaitu rata-rata 99,14%. Pada saat terjadi perubahan radiasi dan suhu, waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk mendapatkan daya maksimum modul surya sekitar 0,1 detik.

Kecepatan metode GWO dalam melacak daya maksimum ketika terjadi radiasi dan suhu berkisar 0,09 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode GWO dapat melacak daya maksimum dengan keakuratan yang tinggi dan sensitif terhadap perubahan radiasi dan suhu.

REFERENSI

- [1] A. . S. S. Verma, D. Nema, "Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 1018–1034, Feb. 2016.
- [2] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 20, no. 4, pp. 963–973, Jul. 2005.
- [3] D. Peftitsis, G. Adamidis, and A. Balouktsis, "A new MPPT method for Photovoltaic generation systems based on Hill Climbing algorithm," in *2008 18th International Conference on Electrical Machines*, 2008, pp. 1–5.
- [4] D. Sera, L. Mathe, T. Kerekes, S. V. Spataru, and R. Teodorescu, "On the Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 3, no. 3, pp. 1070–1078, Jul. 2013.
- [5] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey Wolf Optimizer," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 69, pp. 46–61, 2014.

- [6] A. N. R. Ahmed, K. Nowaz, J. Tasnim, and N. Afroze, "Efficient PV array modelling by analyzing PV system(cell/module/array) based on MATLAB," in *2015 2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technologies (EICT)*, 2015, pp. 492–497.
- [7] A. Naim, R. Ahmed, K. Nowaz, J. Tasnim, and N. Afroze, "Efficient PV Array Modelling by Analyzing PV System (cell / module / array) Based on MATLAB," no. Eict, pp. 492–497, 2015.
- [8] Sharmistha, S. Bhattacharjee, and A. Bhattacharya, "IEE proceedings. Generation, transmission and distribution.," *IET Gener. Transm. & Distrib.*, vol. 10, no. 3, pp. 625–637, Feb. 1994.
- [9] S. Mohanty, B. Subudhi, and P. K. Ray, "A New MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 1, pp. 181–188, Jan. 2016.
- [10] H. Patel and V. Agarwal, "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 1, pp. 302–310, Mar. 2008.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

